

ガス発泡ポリエチレン 絶縁中継ラミネートシースケーブルの特性

Characterics of Multipair Exchange Area Telephone Cable with Cellular Polyethylene Insulation by Gas Injection Blouing

Use of cellular polyethylene for multi-pair exchange area telephone cables has such advantages that the cable thus made fulfills crosstalk requirement even when it is installed directly without tests for connection and that its sheath can be simplified from stalpeth construction to laminate construction. We have developed techniques for manufacturing such cellular polyethylene insulated cables which not only ensure such advantages but are competitive in price. Cellular polyethylene has been made mainly by the chemical foaming process in which the decomposing gas of the foaming agent is utilized. In this method, however, process tends to take much time, still the product lacks uniformity. In our method, in which the gas is directly forced into the extruder, porosity distribution in the lengthwise direction is so low as $\pm 2\%$, and the capacitance unbalance within quad of the quadded product is with held to about 30 pF/150 m or less. Also, crosstalk characteristics of the product have been much improved. Ten km in total of the multi-pair exchange area telephone cables (0.65 mm $\times$ 1,000 pairs and 0.5 mm $\times$ 1,800 pairs) made in our method have been delivered recently to Messrs. Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation for secondary commercial tests.

高野 英雄* *Hideo Takano*
下堀 幸夫* *Yukio Shimobori*
成田 芳大** *Yoshihiro Narita*
遠藤 武** *Takeshi Endo*
今沢 正博** *Masahiro Imazawa*
竹ノ下高彦** *Takahiko Takenoshita*

1 緒 言

近年、日本電信電話公社では紙絶縁ユニット市内中継星スタルペス ケーブル(以下、T S T ケーブルと略す)の建設工事において試験接続を省略しても現在の漏話規格を十分満足し、かつT S T ケーブルに経済的に対抗しうるケーブルの開発が必要とされている。一般的にプラスチック絶縁では紙絶縁に比較して、6 dB程度漏話特性が良くなる⁽¹⁾ことが統計的に示されている。この値は試験接続による漏話改善効果よりも小さい。しかし0.32mm市内発泡(ぼう)ポリエチレン絶縁ケーブルの実績などから、ケーブル製造技術の向上によって規格値を満足することが検討された。このようなことから発泡ポリエチレン絶縁(以下、PEFと略す)による中継PEF-ラミネート シースケーブル(以下、PEF-LAPケーブルと略す)の開発が取り上げられた。この日本電信電話公社の要請にこたえるため、作業速度の高速化と安定性に富むガス直接封入高速PEF製造方法を検討した。本報では新方式によるPEF絶縁体特性およびPEF-LAPケーブルの試作の結果について述べる。

2 最近のPEF絶縁コア製造方法

PEF製造の歴史は古く昭和16年にアメリカ・デュポン社の出願特許⁽²⁾が公告されている。わが国においては昭和30年ごろより電線被覆用として使用され始めており、昭和33年には日本電信電話公社の電気通信研究所により溶液塗装法によるPEF電線の製造方法に関する研究が発表され、内外の注

目を集め、昭和35年に0.32mm市内PEFケーブルとして実用化された。一方、押出し機によるPEF製造法は、物理的発泡法と化学的発泡法に分類される。このようなPEF製造法は発泡剤材質、発泡剤混合法などについて各国でそれぞれ研究開発がなされている。

2.1.1 化学的発泡法

化学的発泡法によるポリエチレン(以下、PEと略す)中の気泡は発泡剤の化学的变化による発熱と発生ガスにより作られるものである。この発泡剤はその種類と配合量により、発泡度、気泡構造、その他多くの点で発泡体の性質に影響を及ぼす。したがって発泡剤の選択には十分な考慮が必要である。たとえば使用PEに対して発泡剤の分解温度および分解完了までの時間が適当な範囲にあること、そして発泡剤の分解残渣(さ)が無害であり、発泡体の電気的性質の低下、着色悪臭などを発生しないとともに微細な気泡を形成することなどである。

2.1.2 物理的発泡法

本方式における気泡は純然たる物理現象を利用したもので独立気泡を持つ発泡体を得る手段として次のものがある。

- (1) 溶融PE中に高圧ガスを圧入し、これを加圧溶解させ均一な流動体を形成し、それを常圧あるいは減圧下に押し出し⁽³⁾⁽⁴⁾て発泡体を得る。
- (2) 揮発性液体を溶融PE中に加圧溶解させ均一な溶融体を作り、これを常圧部または減圧部に押し出すとき揮発性液体

* 日立電線株式会社研究所

** 日立電線株式会社日高工場

の気化ガスを利用する。

(3) 粘度低下用の溶剤と高压ガスを並用し(1)と同様な方法で均一な発泡体を得る。

このような物理的発泡体において、発泡度をもとのPE体積の数十倍にすることも可能であり、このような場合、発泡度調節、気泡壁破壊防止のためにPE分子間を物理的あるいは化学的に架橋する場合⁽⁵⁾もある。

2.2 発泡方式の選択

PEF-LAPケーブルのPEF絶縁体被膜厚さは0.1～0.2mmと薄肉であることが要求される。このようなことからケーブル製造工程中における耐摩耗性を考慮して機械的強度の大きい高密度PE(以下、HDPEと略す)がベースPEとして採用された。しかし化学発泡法においてHDPE発泡体を得ることは、現状の発泡剤分解温度とHDPE押出し温度が一致しないのでむずかしい。この問題解決のため、あらかじめPE中に溶剤を含有し溶融PEの粘度を低下させて発泡体を得る方法⁽⁶⁾とか溶融PE中に直接溶剤を注入して粘度低下を図る方法⁽⁷⁾など発泡体性状に合わせた押出し技術が必要となる。一方、物理的発泡法の特徴は次の点にある。

- (1) 化学発泡法に比較して温度感受性が低く、長時間にわたる作業において均一な発泡体を得る。
- (2) 発泡状態は物理的条件の調節だけに依存し、このため自動制御技術を応用するには好都合である。
- (3) 温度依存性が少ないので、溶融温度の異なる各種のポリマに対して適用できる。
- (4) 発泡剤残渣がないので特に誘電正接が問題になる高周波用絶縁体としてすぐれている。

またPEF-LAPケーブルの経済性を考慮すると作業性などの点から、物理的発泡法が有利となるとの判断から本方式の実用化について検討した。

3 ガス直接封入PEF製造法

物理的発泡法が電線用PEF製造法として実用化されなかったことは次の三つの問題点に起因する。

- (1) 押出し機中の溶融PEに高压ガスを均一に加圧溶解することがむずかしく、発泡むら、押出し圧力変動などを発生する。
- (2) 微細気泡をPE中に形成させるための発泡核生成の均一化に難点がある。
- (3) 導体にPEFを被覆するときの密着性の問題

これら問題点の解決のため、第1段階としてオートクレーブによる発泡状態の基礎検討および第2段階として小形機による押出し方式の検討そして最終的に大形機による高速押出し方式の確立を行なった。基本的に本押出し方式は高压ガスの加圧溶解を容易にするためPEペレットを溶融する工程と注入ガスを均一に溶解する工程がタンデム化されたいわゆるTSP方式(Two Stage Processing)を採用している。この方式ではスクリー形状とクロスヘッド構造が発泡核の均一発生、注入ガスの混合作用と圧力変動の改善に大きく影響する。また注入ガスとしては、プロパン、ブタン、ペンタンのような低沸点脂肪族炭化水素、モノクロールジフルオロメタン、ジクロールテトラフルオロエタンのようなハロゲン化炭化水素または窒素、アルゴン、ヘリウムなどの不活性気体が使用され、押出し機の常圧部に10～30kg/cm²の圧力で注入される。この方式によってPEF絶縁コアは、1,000m/min以上の速度で連続的に製造することができるとともに、長手方向の発泡状態も均一性に富み、しかも密着性が良好である。

3.1 気泡核の発生

溶融PE中にガスを圧入後の発泡経過は図1に示すとおりである。押出し機の容量、押出し速度などによって発泡開始時間が多少異なってくるが、ここでは約4分後には発泡現象が

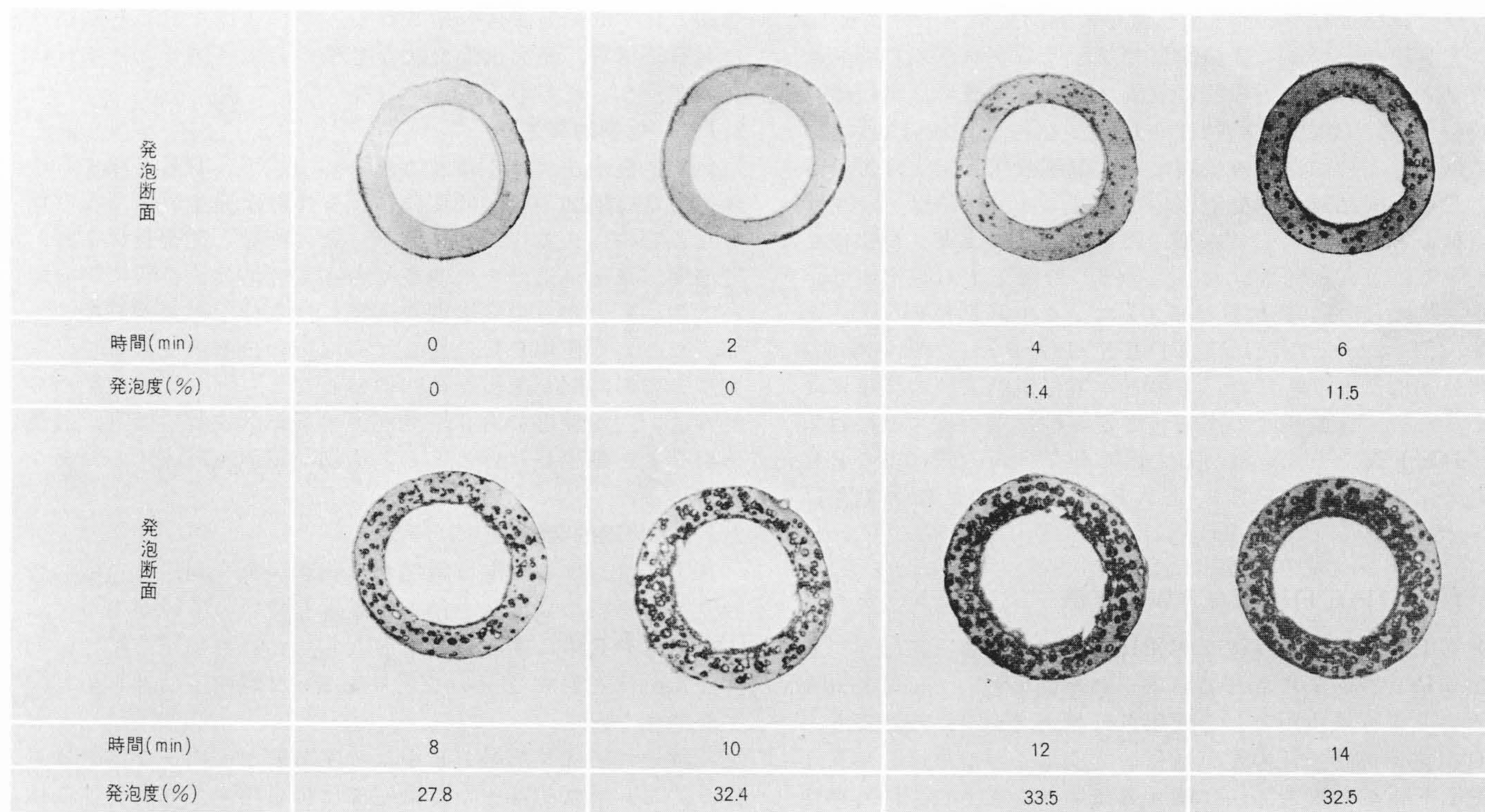


図1 ガス圧入後の経過時間と発泡状態 押出し機溶融PEにガスを18kg/cm²の圧力で注入したときの発泡断面を2分間隔で観察したものである。

Fig. 1 Cross Section of Extruded Insulators at Several Elapsed Time after Gas Injection

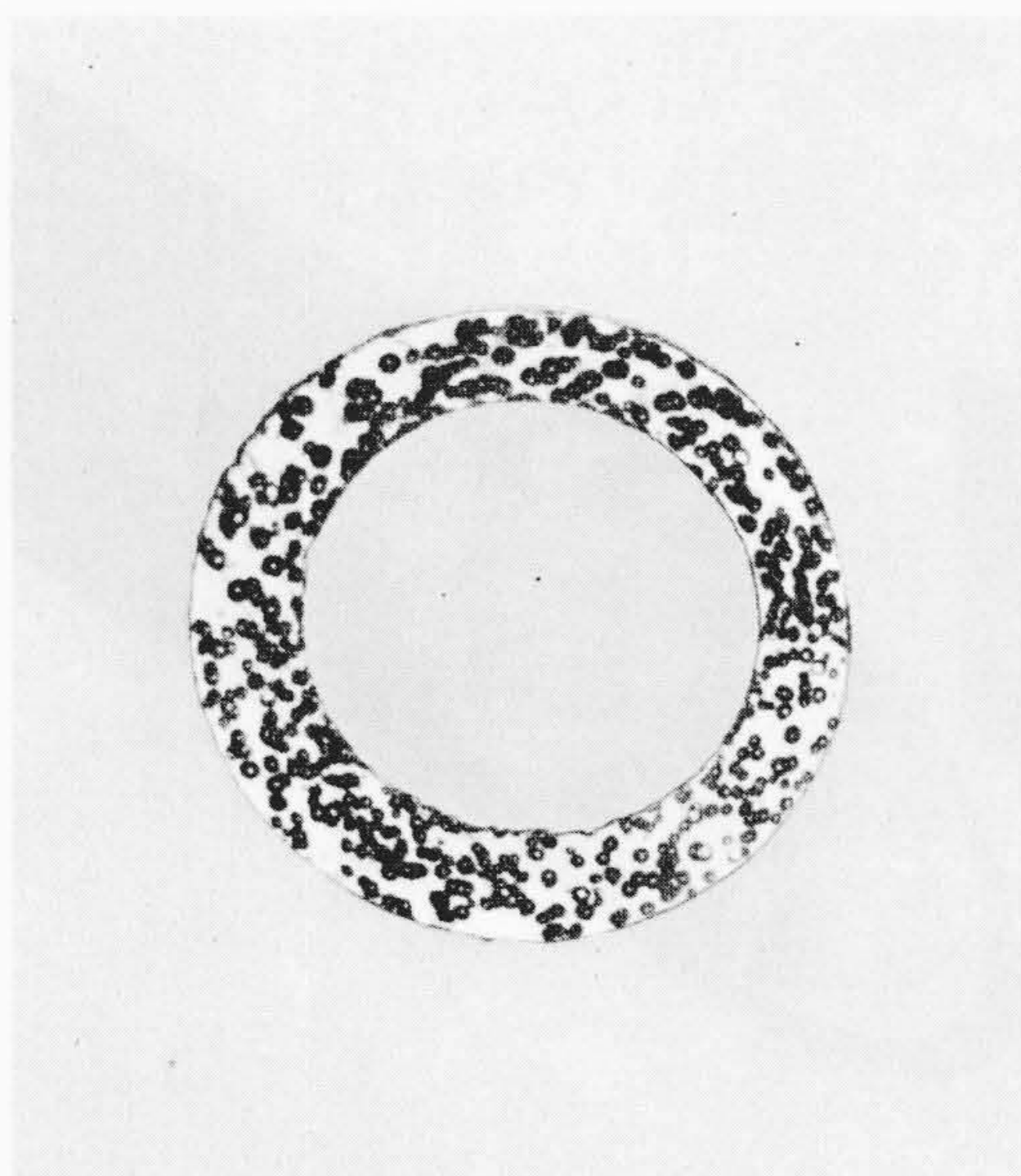


図2 PEF絶縁体発泡断面 日本電信電話公社の規格値に合わせた発泡度(22%), 導体径(0.5mm)のPEF絶縁体の断面を示す。

Fig. 2 Cross Section of Cellular Polyethylene Insulator by Gas Injection (Porosity 22%)

始まる。そして初めは非常に微細な気泡が数点発生し、しだいに気泡数および気泡径が増加することがわかる。ガス圧入後約9分で全面発泡し、安定状態に達することが明らかである。このような発泡における気泡核の発生は溶融PE分子鎖の熱的ゆらぎによる空間⁽⁸⁾によるものとしている。しかしその他にも非晶部に存在する不純物、あるいは溶融PEが結晶化しつつあるときに形成されるマイクロボイドなどの空げきも核発生の誘因となろう。このプロセスで得られる発泡度および気泡径は使用するPE特性、ガス溶解度、押出し圧力、また核発生剤を使用するときにはその種類、形状、添加量などによって決まる。

3.2 発泡体の均一性

図2は日本電信電話公社規格に合わせた発泡断面を、図3は長手方向の発泡度およびコア外径の変動を示すものである。ここで発泡度は下記(1)式によって求められた。また発泡体密度の測定媒体には、アルコール(20℃密度=0.797 g/cm³)を使用した。

$$P = \frac{100}{d_0} \left\{ d_0 - \left(\frac{W_1}{W_1 - W_2} \right) \zeta \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 P ：発泡度(%), d_0 ：発泡前のPEの密度(g/cm³)
 ζ ：媒体液の密度(g/cm³),
 W_1 ：発泡体の空气中重量(g)
 W_2 ：発泡体の液中重量(g)

このように発泡気泡径は大体10 μ 程度と微細なものが得られ、長手方向の発泡度ばらつきは±2%以内、コア外径は、0.005mmと周方向および長手方向の均一性に富んでいる。

3.3 PEF絶縁体機械特性

図4に示すようにPEFコアの引張特性は十分な強度を有しばらつきも少ない。一方、図5に示す摩耗特性は、ケーブル製造工程中に受ける摩耗の耐久性を表わす尺度で、この試作ケーブル製造中においてピンホールなどの増加は見られなかった。そのほかPEFコアを自己径のマンドレルに巻き付けて80℃ふんい気で240時間放置後のき裂発生の有無についても調査したが、コア色別に無関係にき裂は全く発生しな

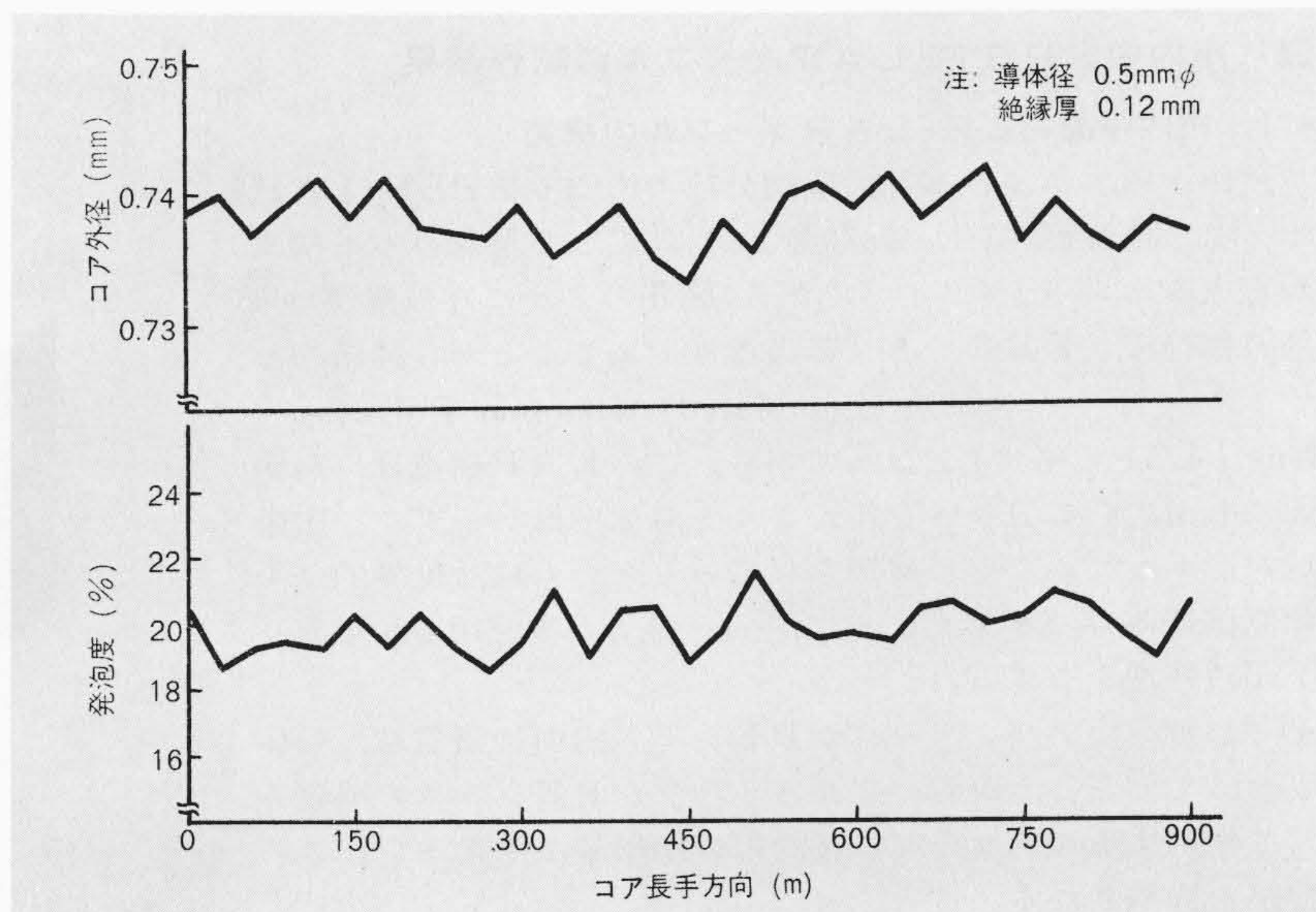


図3 発泡度とコア径の変動 新方式によるPEFコアの長手方向の特性変動を30m間隔に実測したものである(発泡度の変動幅は、±2%内である)。

Fig. 3 Fluctuation of Porosity and Diameter of Cellular Polyethylene Insulator by Gas Injection

った。次にPEF絶縁体の収縮性について検討した。この実験では押出し後のPEFコアをふんい気115℃、24時間放置した後、その収縮量を測定したが、導体に密着したPEF絶縁体に収縮は見られなかった。しかしPEFに限らずプラスチックの収縮はケーブル製造工程中に加えられる張力によって多少変化する。したがってケーブル製造工程中の張力の設定については注意が必要である。

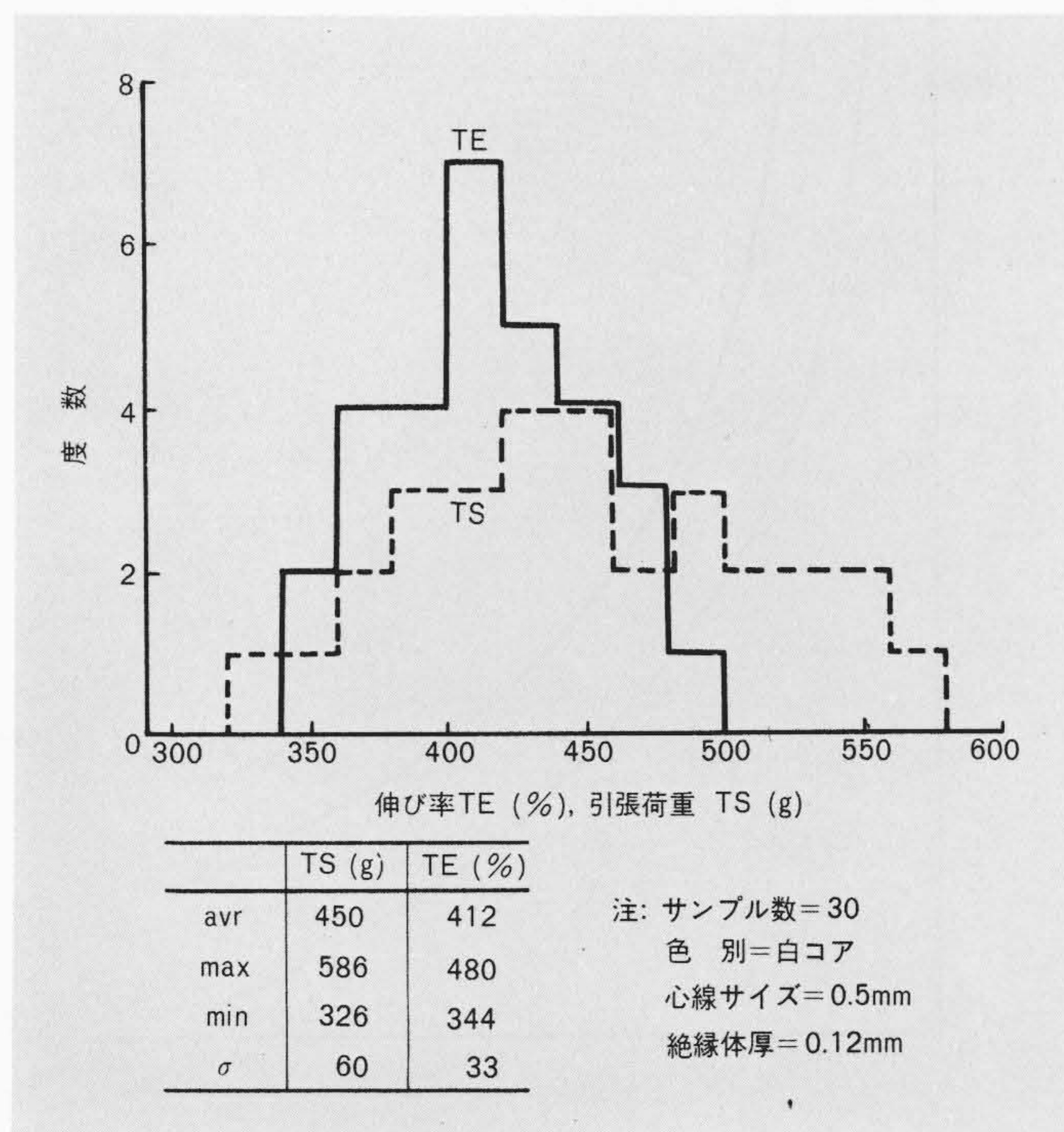


図4 ガス発泡法によるPEF絶縁体の伸び率および引張荷重 試作ケーブル完成後のPEF絶縁体の機械的特性で、従来の化学PEFと同様な分布を示す。

Fig. 4 Tensile Strength & Elongation of Cellular Polyethylene Insulator by Gas Injection

4 市内中継PEF-LAPケーブルの試作結果

4.1 市内中継PEF-LAPケーブルの構造

試作ケーブルは日本電信電話公社の市内中継PEF-LAPケーブル仕様書(特仕・5830号2版)に従って星形カッド構成から成るユニットタイプである。図6のように外被構造は内部導体絶縁がPEFであり非吸湿性であることから経済的なラミネートシース構造(Laminated Aluminum Polyethylene: LAPと略す)となっている。このLAP構造は、わが国でも市内CCPケーブル、アルミ導体中継ケーブル、広帯域対形ケーブルなどに適用されているとともに、世界的にも類似構造のものが広くケーブルシースとして使用されており下記の特性を有する。

- (1) シャヘイアルミテープがPEシース内面に密着し、一体となっていることから、アルミテープがPEシースの補強として作用するためケーブル接続部に悪影響を与えるシースの伸縮が抑制される。
- (2) 同様なことよりケーブルに屈曲が加えられてもアルミテープに局部的なしわやき裂が生じにくい。

本報では試作した0.5mm, 1,800対PEF-LAPケーブルの諸特性について述べる。

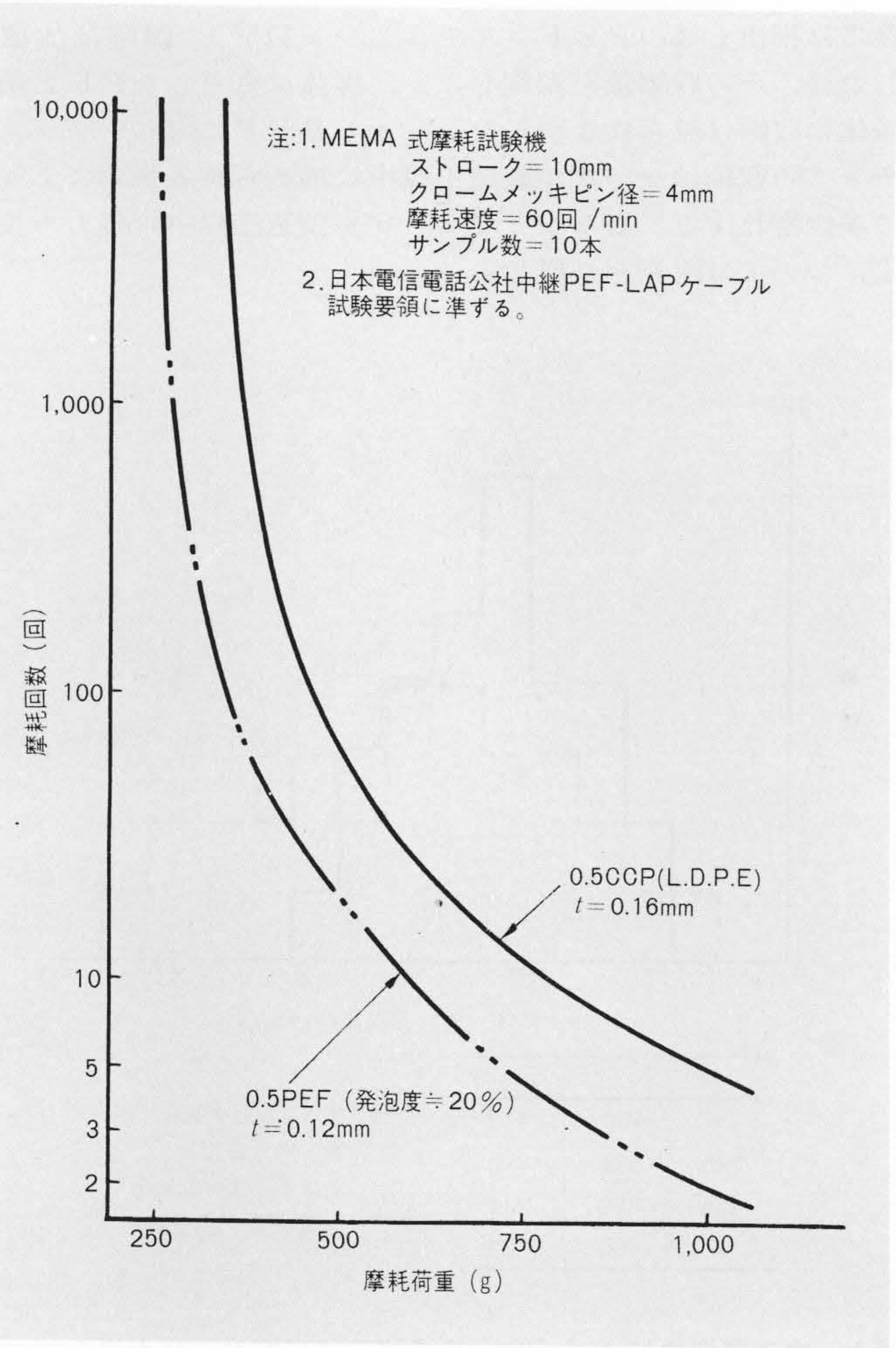


図5 0.5 PEF 絶縁体の摩耗特性 新方式による0.5PEF絶縁体の摩耗特性を市内CCPケーブル用の0.5mmCCPコアと比較したものである。

Fig. 5 Wearing-out Test Results Wearing-out Times vs Load (NEMA Method)

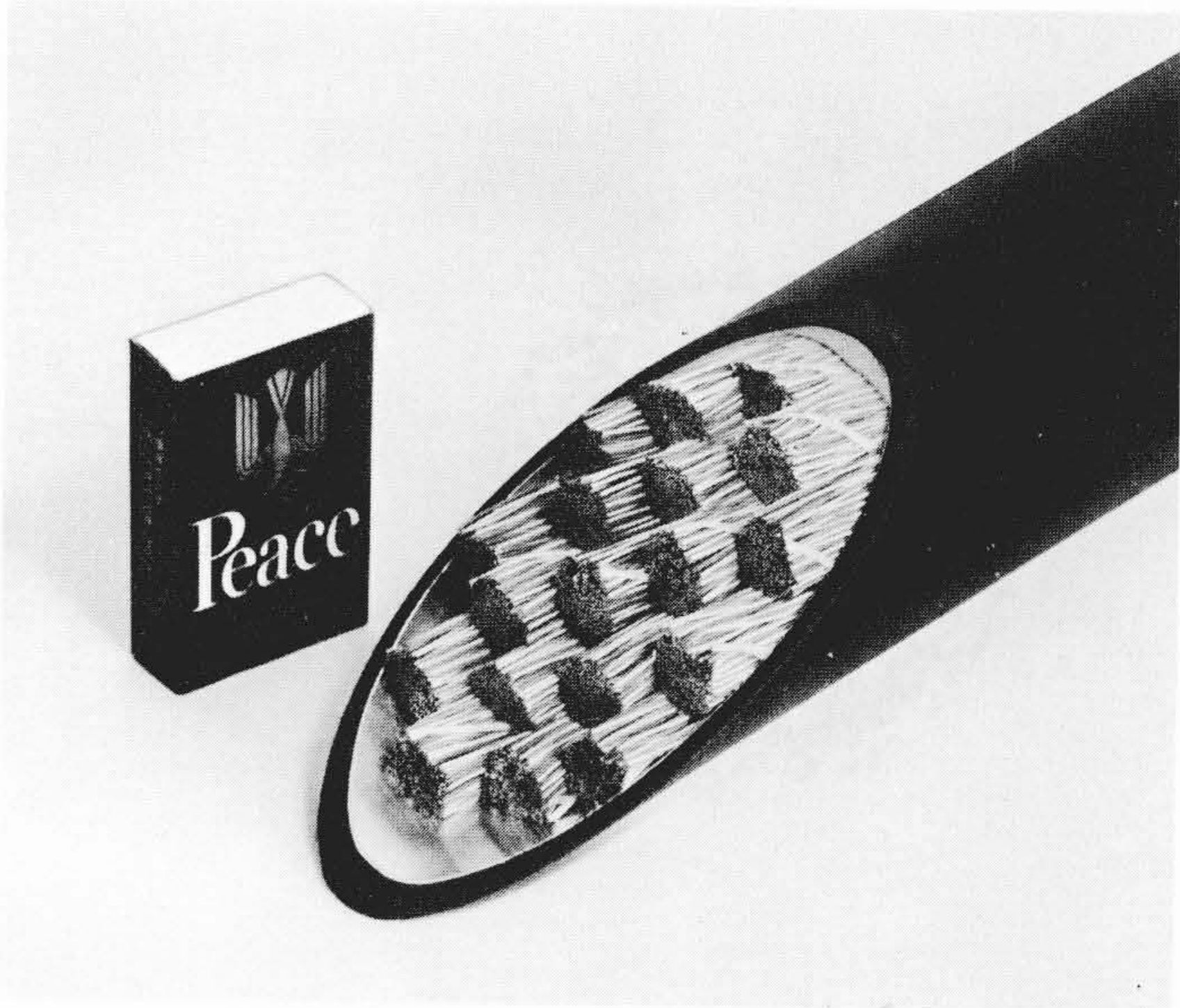


図6 0.5mm, 1,800対中継PEF-LAPケーブル 試作または各サイズの中継PEF-LAPケーブルのうちの0.5mm, 1,800対ケーブル外観を示す。

Fig. 6 Multipair Exchange Area Telephone Cable (0.5mm, 1,800 Pair)

4.2 LAPシースの機械特性

ケーブル屈曲性を調査のため、ケーブル外径の6倍の曲率半径を持つマンドレルに沿って10回の往復屈曲試験を行なった。このときの外被表面の座屈状況を観察し内部アルミテープに発生するしわ、変形状況などを調査したものが表1であり、0.5mm, 1,800対TSTケーブルと対比している。また図7は、低温(−20℃)におけるLAPケーブルをアルミテープのラップ部中性点とラップ部真上方向に屈曲させたときのシース内面状態を示すものである。表1のようにTSTケーブルとLAPケーブルとを比較したときLAPケーブルの構造はしわやき裂の発生が少なく屈曲性にすぐれていることが明らかである。しかしその屈曲方向によって、シース内面に発生するしわやき裂の発生に差があるが、図7のようにき裂は少ない。また屈曲率を8倍としたとき、屈曲方向がどの方向でもしわやき裂は全く発生しない。次にケーブルに荷重をかけ

表1 屈曲性の比較 ケーブル外径の6倍の曲率半径を有するマンドレル曲面に沿って往復10回の屈曲試験を行なったときのTSTケーブルとPEF-LAPケーブルの比較を示す。

Table 1 Comparison of Bending Characteristics Test

曲 げ 倍 率	曲 げ 方 向	試 料 No.	試 験 結 果							
			常 温				低 温 (−20℃)			
			外 観		アルミテープ		外 観		アルミテープ	
			TST	LAP	TST	LAP	TST	LAP	TST	LAP
6	↔	1	○	○	×	○	△	○	×	○
		2	○	○	△	○	△	○	×	○
	↔	1	○	○	×	△	×	○	×	×
		2	○	○	×	△	×	○	×	△

注：○＝異常なし
△＝テープにしわ発生または外観に座屈1個
×＝テープにき裂発生または外観に座屈2個

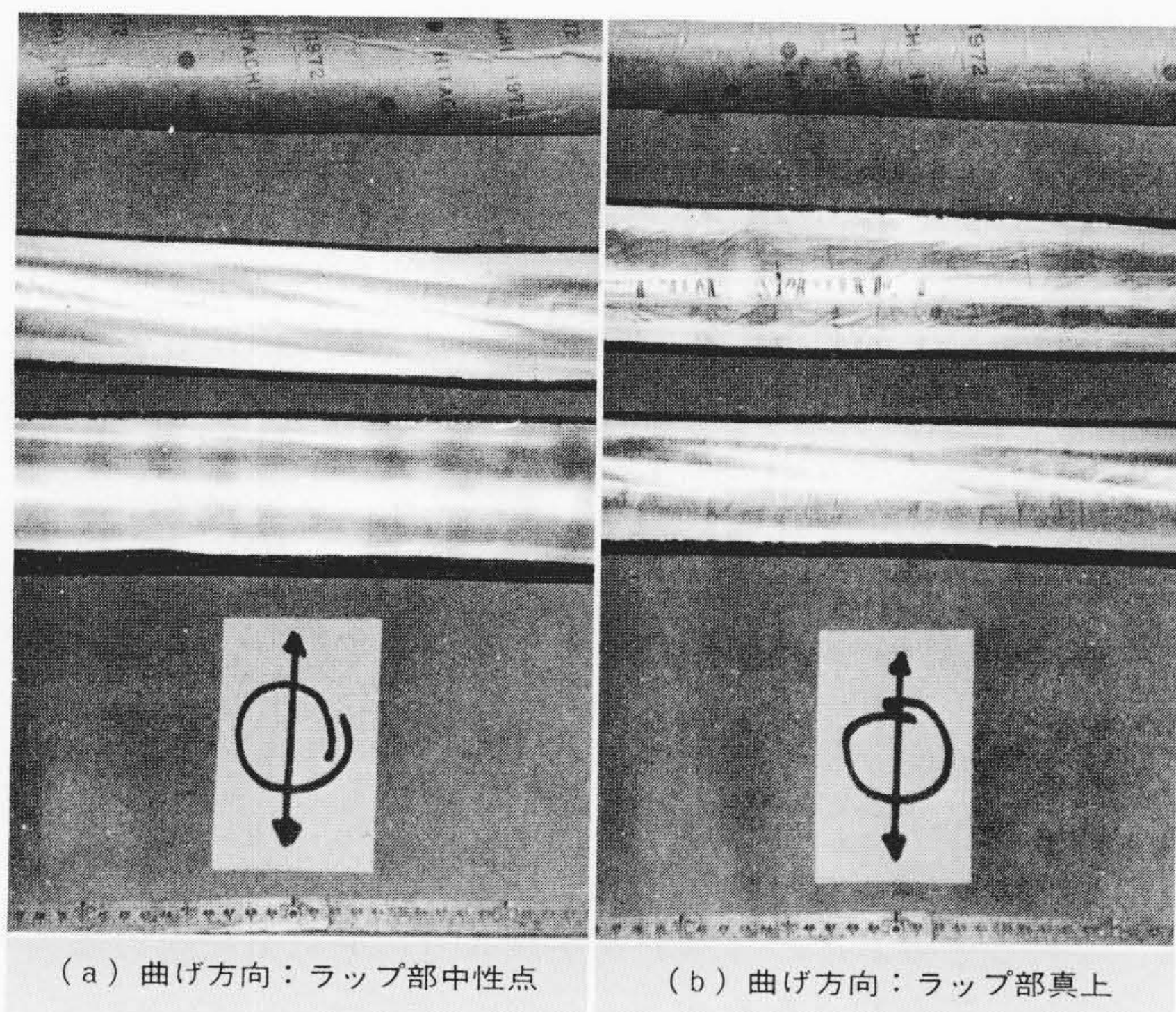


図7 低温屈曲試験後のシース内面 0.5mm, 1,800対PEF-LAPケーブルを、 -20°C ふんい気においてケーブル外径の6倍の曲率半径で屈曲試験を行なったとき、テープラップ部真上の曲げ方向では多少、しわや小さなき裂が発生する。

Fig. 7 Inner Surface of LAP Sheath after Bending Test at Low Temperature

て、そのたわみ量を測定する可とう性試験の結果は図8に示すとおりである。このようにLAPケーブルは、TSTケーブルと比較して若干たわみ量が少ない。またケーブルコアを抜いたときの圧壊性は図9のようにLAPシースが変形しやすいことを示している。これはTSTシースの鉄テープとコルゲートの影響であろう。しかし、ケーブルコアがはいった状態では全く差が見られなかった。これらはLAPシースの機械的特性の一部であるが、他の特性においても十分な値を得ている。

4.3 電気的特性

この試作ケーブルの目的の一つは近端漏話減衰量（以下、

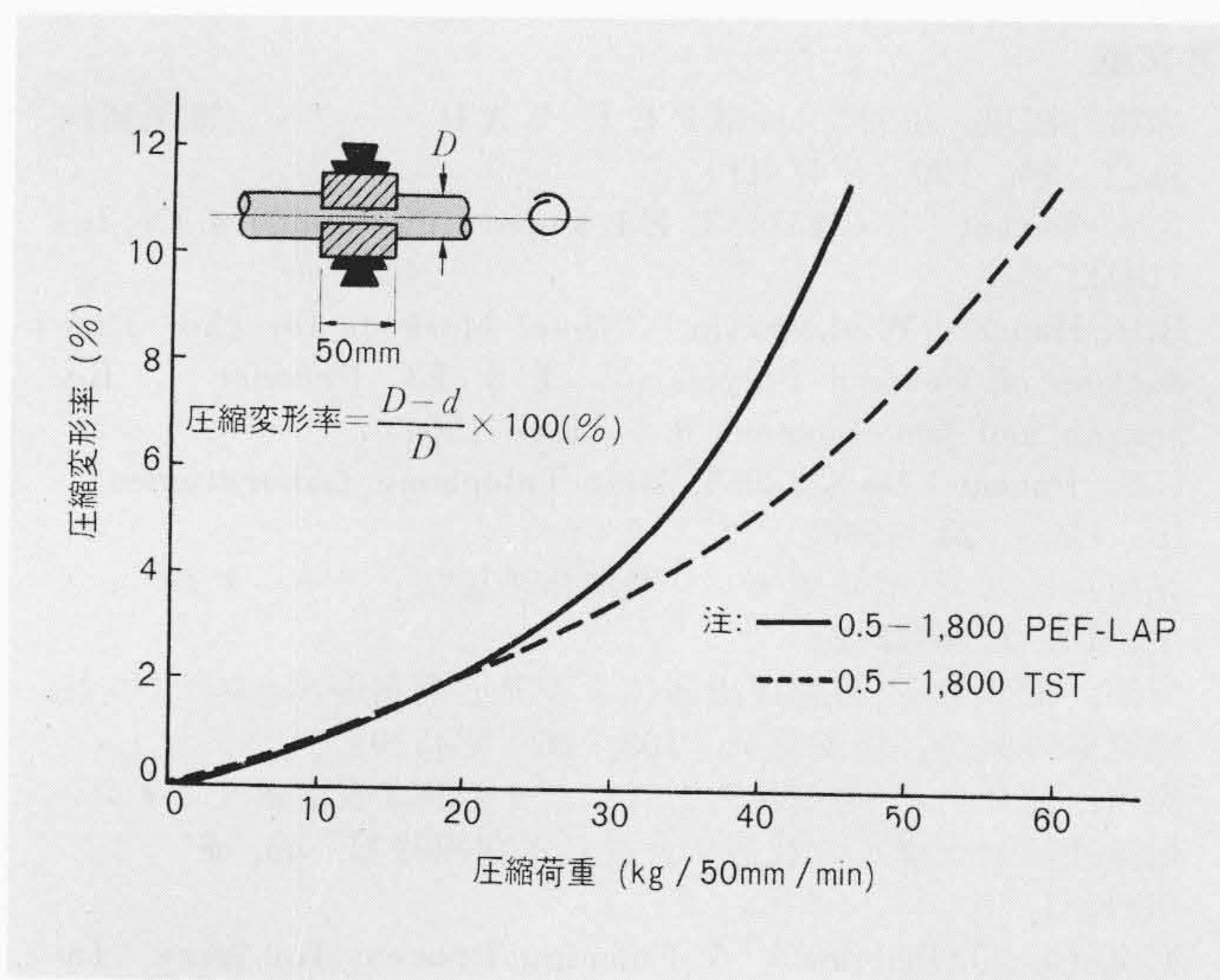


図9 圧壊性の比較 ケーブルコアを抜いたときの圧縮変形率は、STケーブルが多少小さい。しかしケーブルコアがはいった状態では全く差がない。

Fig. 9 Comparison of Crush Resistance

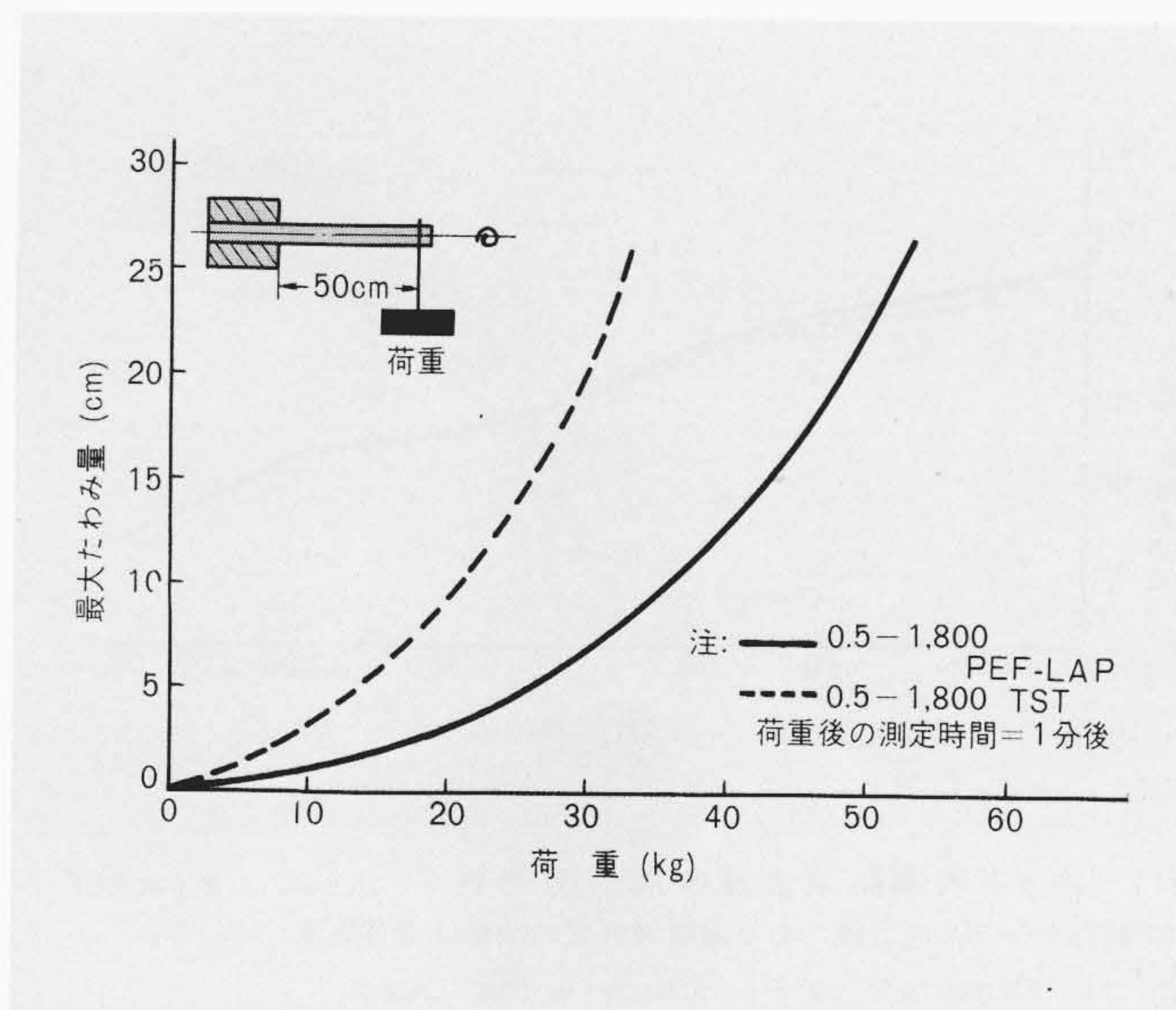


図8 可とう性の比較 TSTケーブルの可とう性は鉄あるいはアルミテープのコルゲート加工分だけ大きい。

Fig. 8 Flexibility of TST Cable & Trial PEF-LAP Cable

NXTと略す)の向上を図ることである。装荷回線のNXTは円形双変正規分布となり、それを絶体値の対数(dB)で表わした平均NXTは(2)式⁽¹⁰⁾で示される。

$$\text{NXT} = 128.7 - 20 \log |K| - 20 \log f - 10 \log \frac{1 - e^{-4n\alpha}}{\alpha} - 20 \log |Z| \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 f : 周波数(1 kHz), n : ケーブル長(10km)

$|Z|$: 特性インピーダンス(1,530Ω)

α : 減衰量(nep/km)

$|K|$: カッド内静電結合値の平均値(PF/km)

またカッド内漏話はケーブルカッドの幾何学的配置のくず

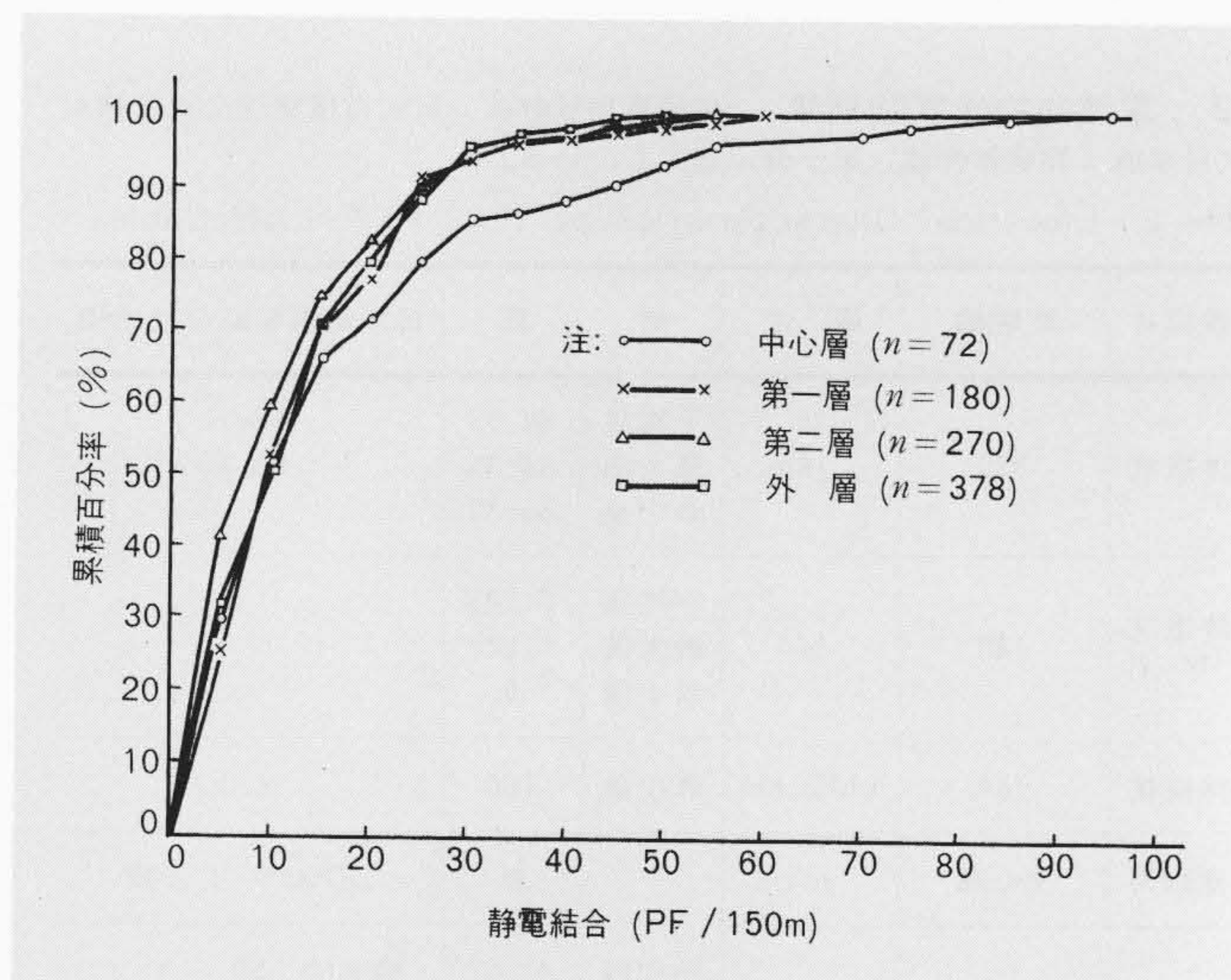


図10 ケーブルユニット内層別静電結合分布 0.5mm, 1,800対PEF-LAPケーブルでは、中心層：75%、第1層、第2層および外層：85%が静電結合値、23PF/150mを満足しており、全カッドの平均結合値は十分目標値を満足する。

Fig. 10 Accumulation of Capacitance Unbalance within Quad of Trial Cable

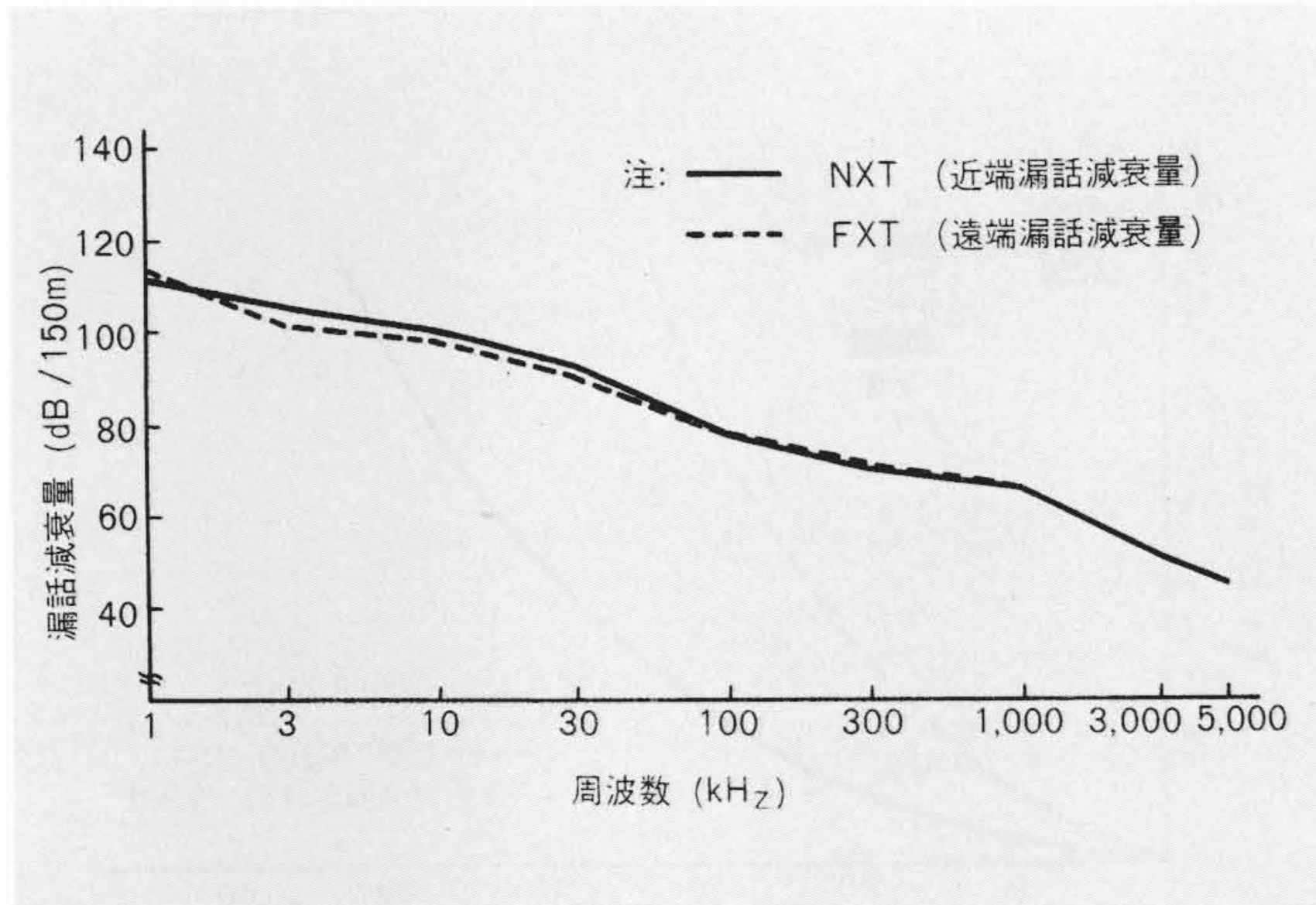


図11 カッド内漏話減衰量の周波数特性 0.5mm, 1,800対PEF-LAP試作ケーブルの目標である漏話減衰量の改善は十分満足している。
Fig. 11 Crosstalk vs Frequency within Quad

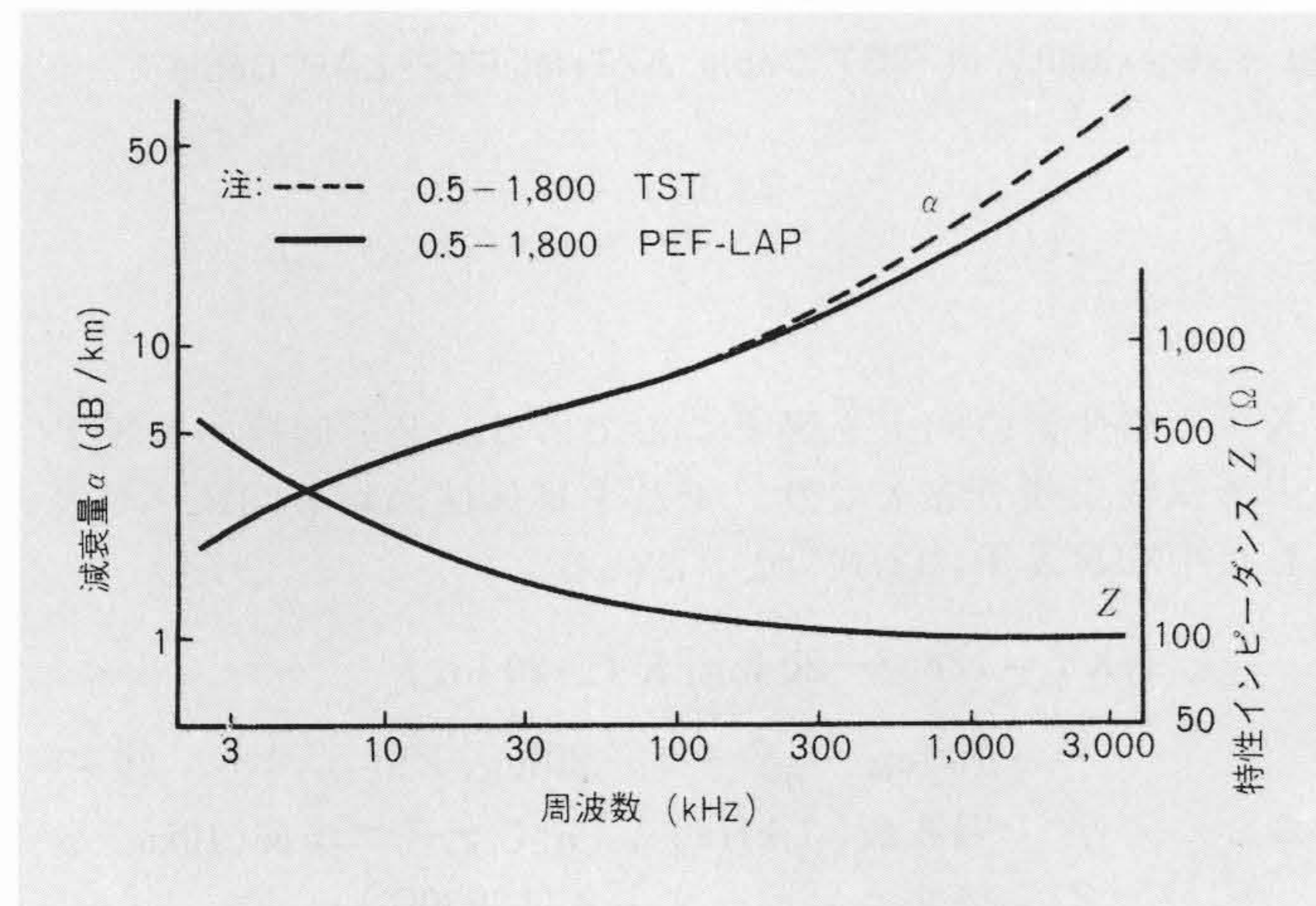


図12 特性インピーダンス・減衰定数の高周波特性 減衰量は 200 kHz 以上の高周波領域においてPEF-LAPケーブルのほうが小さく、PCM伝送またはテレビ電話などに対して有利である。
Fig. 12 Characteristic Impedance & Loss vs Frequency

表 2 電気的特性試験結果 各種電気試験は、日本電信電話公社仕様および目標値（静電結合値）を十分に満足している。

試験項目	試験数	単 位	結 果	日本電信電話公社仕様
導体抵抗	360	Ω/km	平均値 87.53 最大値 88.95 最小値 85.80	88.7 93.15 —
導体抵抗 不 平 衡	180	%	平均値 0.283 最大値 1.225 最小値 0	—
絶縁抵抗	144	kMΩ-km	最小値 160	2 <
絶縁耐力	全心線	—	良	DC500V 1 分間
静電容量	1,800 (全対)	nF/km	平均値 48.02 最大値 51.15 最小値 44.12	標準値：50 各々くごとの平均と 標準の偏差：±10%
静電結合	900 (全カッド)	PF/150m	平均値 12.5 最大値 94.0 最小値 0	50.0(目標：23.0) 300.0(目標：110.0) —

れに起因するものであり、ケーブルの製造条件によって左右される。そこで無試験接続したとき、カッド内NXTが漏話規格73dB(1kHz, 90%)を満足するカッド内静電結合は、平均23PF/150m, 最大110PF/150m であるとしている。この試作ケーブルのカッド内静電結合値分布は図10のように中心層において75%, 第1層および第2層および外層において85%が静電結合値 23 PF/150m 以下であり、全カッドの平均結合値は目標値を十分満足している。表 2 は、各種電気特性試験結果と規格値とを比較し示したものである。試作ケーブルはいずれも良好な値を得ているとともに、図11のカッド内NXT周波数特性および図12の特性インピーダンスと減衰定数の高周波特性より十分な電気特性を有することがわかる。また特性インピーダンスはTSTケーブルおよびPEF-LAPケーブルともに同一特性を示すが、減衰定数は 200kHz 以上の高周波においてPEF-LAPケーブルのほうが有利である。このことはPEF-LAPケーブルへのPCM伝送の導入などに対して有利となろう。

5 結 言

紙絶縁によるTSTケーブルよりも漏話特性のすぐれたPEF-LAPケーブル試作結果について述べた。このように漏話特性の向上と経済的なケーブルの開発は、ガス直接封入発泡押出し技術確立することによって達成することができた。さらにカッド撚(より)合せおよび集合工程においても新たに最適条件を設定することによって特性向上に寄与することができた。またPEF化の試作ケーブルは本稿の0.5mmサイズに限らず各種サイズについても検討しており、十分な特性を得ている。このようなPEF化により通信ケーブルの特性向上は急速に進展するものと思われる。今後はよりいっそう品質の良好なPEF-LAPケーブルの製造技術の向上に努める所存である。最後にこれらの試作ケーブルの検討にあたり、適切なるご指導とご鞭撻(べんたつ)を賜った日本電信電話公社の関係各位および日立電線株式会社通信技術部、同日高工場通信ケーブル部ならびに同研究所の関係各位にもあわせて深謝する次第である。

参考文献

- (1) 福富, 江川, 田村:「中継PEF-LAPケーブル」電気通信施設 24, 100 (昭47-11)
- (2) U.S. Patent : No.2253483, E.I. Duport de Nemours Co Ins (1941)
- (3) R.H. Hansen, W.M.Martin: "Novel Methods for the Production of Foamed Polymers". I & EC Product Research and Development 3, 2 (June 1964)
- (4) U.S. Patent : No.3253065, Bell Telephone Laboratories Ins (May. 24. 1966)
- (5) 細田, 椎名:「ポリエチレン発泡体の展望」ラバーダイジェスト, 19, 2 (昭42-2)
- (6) 河添, 他 3 名:「膨潤押出法による発泡高密度ポリエチレン絶縁電線の製造」住友電気, 102, 26 (昭45-9)
- (7) 実川, 他 2 名:「溶剤注入方式による発泡高密度ポリエチレン絶縁通信ケーブルの製造」大日本電線時報, 46, 6 (昭45-11)
- (8) Y. Kato, O.Ohshima: "A Foaming Process for Wire Insulation", 19th International Wire & Cable Sympasum, 314 (Dec. 1970)
- (9) 児島, 他 3 名:「SF₆含浸ポリエチレンの特性」昭和電線電纜レビュー, 22, 11 (Jan. 1972)
- (10) 村田保:市内電話線路, 第 7 集, 394 (昭和44, 社団法人電気通信協会)